



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 43 07 869 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁵:
B 29 C 39/42
B 22 C 9/00

⑳ Aktenzeichen: P 43 07 869.9
㉔ Anmeldetag: 12. 3. 93
㉕ Offenlegungstag: 15. 9. 94

DE 43 07 869 A 1

㉚ Anmelder:

MicroParts Gesellschaft für Mikrostrukturtechnik
mbH, 44227 Dortmund, DE

㉚ Erfinder:

Reinecke, Holger, Dr., 44287 Dortmund, DE;
Leßmöllmann, Christoph, Dr., 76593 Gernsbach, DE;
Eicher, Joachim, Dr., 76185 Karlsruhe, DE

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Mikrostrukturkörper und Verfahren zu deren Herstellung

⑤7 Mikrostrukturkörper werden mittels eines z. B. nach dem LIGA-Verfahren hergestellten Formeinsatzes abgeformt. Das Verfahren ist in vielen Fällen aufwendig. Die erreichbaren Strukturformen sind begrenzt. Bei der Auswahl der Werkstoffe ist ein Kompromiß einzugehen zwischen den Anforderungen im Fertigungsprozeß und den Anforderungen beim Einsatz der Mikrostrukturkörper.

Der mikrostrukturierte Formeinsatz wird aus einem festen Körper (Metall, Keramik, Glas, Stein oder einkristallinem Material) durch feinmechanische Präzisionsbearbeitung, additive oder subtraktive Strukturierung hergestellt. Der Formeinsatz wird mit einem fließfähigen Material ausgefüllt und überdeckt; das verfestigte Material wird von dem Formeinsatz getrennt, wobei der Mikrostrukturkörper erhalten wird. Zum Herstellen des Formeinsatzes wird ein Material gewählt, das aufgrund seiner Eigenschaften für diese Strukturierungsverfahren möglichst gut geeignet ist. Für den Mikrostrukturkörper werden Werkstoffe ausgewählt, die die an diesen gestellte Anforderungen optimal erfüllen. Herstellung von Mikrostrukturkörpern mit optimalen Materialeigenschaften und in erweiterter Formenvielfalt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 07. 94 408 037/323

9/31

Die Erfindung betrifft Mikrostrukturkörper sowie ein Verfahren zum Herstellen von Mikrostrukturkörpern aus Metall, Kunststoff oder Sinterwerkstoff.

Mikrostrukturkörper haben Abmessungen im Mikrometerbereich; sie werden insbesondere in der Feinwerktechnik, Mikromechanik, Mikrooptik und Mikroelektronik benötigt, z. B. als Sensorelemente, Aktuatorelemente, Komponenten in fluidischen oder elektronischen Systemen. Sie werden im allgemeinen dort eingesetzt, wo Eigenschaften wie geringer Raumbedarf, niedriges Gewicht und kostengünstige Fertigung gefordert sind.

Die Erfindung bezweckt, derartige Mikrostrukturkörper wirtschaftlicher herzustellen.

Es ist bekannt, Mikrostrukturkörper aus Kunststoff, Metall oder Keramik nach dem LIGA-Verfahren durch Lithographie, Galvanoformung und Abformung herzustellen [Kernforschungszentrum Karlsruhe, Bericht 3995 (1985)]. Mikrostrukturkörper aus Kunststoff erhält man kostengünstig und in großen Stückzahlen durch Mehrfach-Abformen eines metallischen Formeinsatzes im Reaktions- oder Spritzguß-Verfahren.

Die Primärstruktur erhält man durch bildmäßiges Bestrahlen eines strahlungsempfindlichen Kunststoffs mittels Röntgenstrahlung oder Synchrotron-Strahlung und anschließendes Auflösen der bestrahlten (oder der unbestrahlten) Bereiche des Kunststoffs. Der Formeinsatz wird durch galvanisches Abscheiden von Metall in den zuvor aufgelösten Bereichen der Primärstruktur hergestellt. Die Struktur des Formeinsatzes ist komplementär zur Primärstruktur. Trotz aller Vorteile, die das LIGA-Verfahren bietet, wie z. B. weitgehende Geometriefreiheit in der Ebene oder die Vielfalt der einsetzbaren Materialien, sind in vielen Fällen einfachere Verfahren erwünscht.

Weiter ist bekannt, kristalline Materialien durch anisotropes Ätzen zu strukturieren (Proceedings of the IEEE, Vol. 70 (1982), No. 5 und IEEE-Trans. Electron. Devices ED-25 (1978), No. 10, 1178—1185). Die damit erhaltenen Mikrostrukturkörper sind nur selten unmittelbar verwendbar, weil das geätzte Material bestimmte Anforderungen — z. B. eine hinreichende Bruchfestigkeit — nicht erfüllt.

Damit stellt sich die Aufgabe, Mikrostrukturkörper aus Metall, Kunststoff oder Sinterwerkstoff durch Abformen eines Formeinsatzes kostengünstiger und schneller herzustellen und die erreichbaren Strukturformen bei vertretbarem Aufwand zu erweitern.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch

- Herstellen eines mikrostrukturierten Formeinsatzes (Primärstruktur) mit einseitig offenen Hohlräumen aus einem festen Körper durch feinmechanische Präzisionsbearbeitung, additive Strukturierung oder subtraktive Strukturierung,
- Ausfüllen und Überdecken der Primärstruktur mit einem fließfähigen Material,
- Verfestigen des fließfähigen Materials,
- Trennen des verfestigten fließfähigen Materials von dem mikrostrukturierten Formeinsatz, wobei der Mikrostrukturkörper aus Metall, Kunststoff oder Sinterwerkstoff erhalten wird, dessen Struktur zur Primärstruktur komplementär ist.

Die Primärstruktur wird aus Metall (z. B. Messing, Aluminium, Stahl), Keramik (z. B. Aluminiumoxid, Por-

zellan, Hartmetall), Glas (z. B. Borsilikatglas, Calciumfluoridglas, Lithiumfluoridglas, Lithiumniobatglas) oder Stein (z. B. Edelstein wie Saphir, Rubin, Topas) — bevorzugt aus Silizium, Quarz, Galliumarsenid oder Germanium — durch feinmechanische Präzisionsbearbeitung wie Sägen, Schleifen, Fräsen, Bohren, gegebenenfalls mit Diamant-Werkzeugen, Laserbearbeitung, Diamantzerspanen oder andere Präzisionsverfahren — hergestellt. Der feste Körper kann weiter durch additive Strukturierung, d. h. durch bildmäßiges Auftragen von Material — bevorzugt durch physikalisches oder chemisches Abscheiden aus der Dampfphase (PVD oder CVD) — strukturiert werden. Einkristallines Material — wie Silizium, Quarz oder Germanium — kann durch subtraktive Strukturierung, d. h. durch bildmäßiges Abtragen von Material — bevorzugt durch anisotropes Ätzen oder Ionenätzen — strukturiert werden. Je nach den Eigenschaften des festen Körpers, auf dem die Primärstruktur hergestellt werden soll, können zwei dieser drei Verfahrensvarianten oder alle drei Verfahrensvarianten miteinander kombiniert werden.

Als fließfähiges Material zum Ausfüllen und Überdecken der Primärstruktur ist ein Reaktionsharz, das durch Aushärten verfestigt wird, oder ein geschmolzener Kunststoff, der durch Abkühlen verfestigt wird, geeignet. Weiter kann dafür ein pulverförmiges Material — bevorzugt ein Metall-, Keramik-, Glas- oder Kunststoffpulver — oder eine Schlickermasse, die eines dieser Pulver enthält, verwendet werden. Das pulverförmige Material oder die Schlickermasse wird durch Trocknen, Sintern oder Brennen verfestigt.

Das verfestigte fließfähige Material wird durch Abheben von der Primärstruktur oder durch selektives Auflösen der Primärstruktur von dieser getrennt. Damit erhält man einen Mikrostrukturkörper aus Metall, Kunststoff oder Sinterwerkstoff, dessen Struktur zur Primärstruktur komplementär ist.

Durch feinmechanisches Abtragen der die Primärstruktur überdeckenden Schicht entsteht ein Mikrostrukturkörper aus Metall, Kunststoff oder Sinterwerkstoff mit durchgehenden Öffnungen. Je nach der Strukturform kann die überdeckende Schicht vor oder nach dem Trennen des verfestigten fließfähigen Materials von der Primärstruktur abgetragen werden.

Zum Herstellen eines Mikrostrukturkörpers aus Metall, dessen Struktur mit der Primärstruktur übereinstimmt, wird nach dem Verfestigen des fließfähigen — elektrisch nicht leitfähigen — Materials die die Primärstruktur überdeckende Schicht bis zur Stirnseite der Primärstruktur durch feinmechanische Präzisionsbearbeitung abgetragen. Anschließend wird eine Deckschicht aufgetragen, die mit der Stirnseite der Primärstruktur in Kontakt steht. Diese Deckschicht besteht aus leitfähigem Material, z. B. leitfähigem Kunststoff oder Metall, oder aus einem Schichtverbund; dabei liegt auf der Stirnseite der Primärstruktur eine dünne Metallschicht und darüber eine dicke Kunststoffschicht. Nun wird das verfestigte fließfähige Material mit der Deckschicht — bevorzugt durch Abheben — von der Primärstruktur getrennt, womit man die Sekundärstruktur erhält, die zur Primärstruktur komplementär ist. Diese Sekundärstruktur wird mit einem galvanisch oder chemisch abgeschiedenen Metall — wie Nickel, Kupfer oder Gold — ausgefüllt und überdeckt. Die mikrostrukturierte Schicht wird von der Sekundärstruktur — bevorzugt durch Abheben — getrennt, wobei der metallische Mikrostrukturkörper erhalten wird, dessen Struktur mit der Primärstruktur übereinstimmt, der jedoch

aus einem anderen Metall als die Primärstruktur besteht.

Dieser metallische Mikrostrukturkörper kann als solcher verwendet werden. Andererseits kann man ihn (als Tertiärstruktur) zum Abformen von Mikrostrukturkörpern benutzen, deren Struktur zur Primärstruktur komplementär ist.

Zum Herstellen der Primärstruktur wird ein Material gewählt, dessen Eigenschaften die für die angegebenen Strukturierungsverfahren zu stellenden Anforderungen möglichst gut erfüllen. Dazu gehören

- die möglichst gratfreie Strukturierbarkeit bei feinmechanischer Präzisionsbearbeitung,
- spiegelglatte Oberflächen der erzeugten Mikrostrukturen,
- möglichst hohe Materialhomogenität und Reinheit,
- ausreichende Dimensionsstabilität und mechanische Festigkeit für die Strukturierung und die nachfolgenden Verfahrensschritte,
- selektive Ätzbarkeit gegenüber den anderen beim Ätzen anwesenden Stoffen.

Besonders geeignet sind vergleichsweise dicke Scheiben eines einkristallinen Materials — bevorzugt aus Silizium, Quarz, Galliumarsenid oder Germanium —, die in großen Mengen in der Mikroelektronik eingesetzt werden sowie leicht und kostengünstig erhältlich sind. Daneben sind Scheiben oder gegebenenfalls andere Körper (wie Zylinder) aus Glas, Keramik, Stein oder anderen Metallen geeignet, wenn sie die für das beabsichtigte Strukturierungsverfahren zu stellenden Anforderungen erfüllen.

Aus Stabilitätsgründen werden etwa 2 mm dicke Scheiben bevorzugt, die auf einer Seite in der oben angegebenen Weise strukturiert werden. Wenn die Primärstruktur später von der Sekundärstruktur oder dem Mikrostrukturkörper durch Abheben getrennt werden soll, muß die Primärstruktur frei sein von Hinterschnitten, sich verengenden Hohlräumen, Graten und rauen Seitenflächen, da dadurch das Abheben erschwert oder verhindert wird. Falls die Primärstruktur Hinterschnitten oder Verengungen enthält, wird die Primärstruktur aufgelöst und dadurch von der Sekundärstruktur getrennt.

Die Primärstruktur wird bevorzugt mit einem thermoplastischen Kunststoff oder einem Reaktionsharz ausgefüllt und überdeckt. Besonders geeignet ist Polymethylmethacrylat wegen seiner guten Fließeigenschaften und seiner ausreichenden chemischen und mechanischen Stabilität für die nachfolgenden Verfahrensschritte. Pulverförmiges fließfähiges Material oder eine Schlickermasse wird in die Primärstruktur gegossen oder mechanisch eingepreßt, gegebenenfalls unter Anlegen eines Unterdruckes.

Die Primärstruktur überdeckende Schicht ermöglicht oder erleichtert den Trennvorgang und kann Bestandteil des Mikrostrukturkörpers mit einseitig offenen Hohlräumen sein. Durch mechanisches Abtragen der Deckschicht entstehen einerseits Mikrostrukturkörper mit durchgehenden Öffnungen, wie Sieb- und Netzstrukturen. Andererseits wird die die Primärstruktur überdeckende Schicht mechanisch abgetragen, und eine Schicht aus elektrisch leitfähigem Material wird aufgetragen, wenn die Mikrostruktur aus verfestigtem fließfähigem Material anschließend z. B. durch Galvanoformung in eine metallische Mikrostruktur umkopiert wer-

den soll. Für die Galvanoformung von Mikrostrukturen mit großem Aspektverhältnis sind im allgemeinen Hohlräume erforderlich, deren Seitenwände nicht leitfähig sind, damit das galvanisch abgeschiedene Metall nur von der leitfähigen Bodenschicht aus hochwächst. Andere Strukturformen — wie Pyramidenstrukturen — werden auch bei leitfähigen Seitenwänden durch Galvanoformung vollständig ausgefüllt.

Die leitfähige Schicht besteht beispielsweise aus einem leitfähigen Kunststoff oder Klebstoff oder aus Metall. Thermoplastisch verarbeitbare leitfähige Kunststoffe enthalten einen zum Beispiel leitfähigen Füllstoff; diese werden z. B. zu Platten verarbeitet, die mit dem verfestigten fließfähigen Material, das die Hohlräume der Primärstruktur ausfüllt, verschweißt oder verklebt werden.

Kunststoffe mit intrinsischer Leitfähigkeit, z. B. Polypyrrol, Polyacetylen, Polythiophen, sind als leitfähige Startschicht ebenfalls verwendbar.

Eine leitfähige Schicht aus Metall wird z. B. durch Bedampfen mit Metall bei relativ niedriger Temperatur erzeugt. Für die Galvanoformung ist eine sehr dünne Metallschicht hinreichend, die durch Bedampfen leicht herzustellen ist.

Um die mechanische Stabilität zu verbessern, wird die dünne Metallschicht z. B. mit einer Kunststoffplatte verklebt oder durch galvanische Abscheidung von Metall verstärkt.

Die leitfähige Deckschicht muß direkten Kontakt mit den Stirnseiten der Primärstruktur haben, damit nach dem Trennvorgang Hohlräume mit einer leitfähigen Bodenschicht vorliegen.

Zum Trennen der Primärstruktur von dem verfestigten fließfähigem Material ist es bei vielen Strukturen möglich, das verfestigte fließfähige Material von der Primärstruktur abzuheben, vor allem dann, wenn das verfestigte fließfähige Metall hinreichend eigenstabil ist, nur schwach an der Primärstruktur haftet und diese keine Hinterschnitten oder Verengungen hat. Bei dieser Art des Trennens bleibt die Primärstruktur erhalten und kann wiederholt mit fließfähigem Material ausgefüllt und überdeckt werden, d. h. sie kann wiederholt zum Herstellen von Mikrostrukturkörpern oder zum Herstellen der Sekundärstruktur verwendet werden.

Andererseits kann die Primärstruktur von dem verfestigten fließfähigem Material durch chemischen Auflösen der Primärstruktur, die dann verloren ist, getrennt werden. Primärstrukturen aus kristallinem Material werden von basischen Ätzmitteln oder Salzen angegriffen, gegen die etliche Metalle und Kunststoffe resistent sind.

Natronlauge oder Kalilauge sind geeignete Ätzmittel für Silizium. Natronlauge mit Wasserstoffperoxid ist ein geeignetes Ätzmittel für Galliumarsenid. Ammoniumbifluorid ist ein geeignetes Ätzmittel für Quarz, und eine Mischung aus Wasserstoffperoxid und Phosphaten ist ein geeignetes Ätzmittel für Germanium.

Zum vollständigen Auflösen von Silizium ist z. B. eine 18%ige Kalilauge bei 70°C geeignet. Polymethylmethacrylat und Metalle sind gegen dieses Lösemittel beständig.

Eine Sekundärstruktur mit leitfähiger Bodenschicht oder Bodenplatte kann durch Galvanoformung nochmals umkopiert werden. Dabei erhält man einen metallischen Mikrostrukturkörper, dessen Struktur mit der Primärstruktur übereinstimmt, der aber aus einem anderen Metall als die Primärstruktur besteht. Dieser Körper kann das gewünschte Endprodukt sein.

Andererseits kann diese Mikrostruktur (Tertiärstruktur) als Formeinsatz zum wiederholten Abformen eines Mikrostrukturkörpers dienen, dessen Struktur zur Primärstruktur komplementär ist.

Einige der angegebenen Verfahrensschritte können miteinander vertauscht werden, wodurch der Verfahrensablauf variiert werden kann.

Das erfindungsgemäße Verfahren und die damit hergestellten Mikrostrukturkörper haben folgende Vorteile:

— Zum Herstellen eines Mikrostrukturkörpers werden im einfachen Fall nur zwei wesentliche Verfahrensschritte benötigt, nämlich die Strukturierung des festen Körpers durch Präzisionsbearbeitung, additive Strukturierung oder subtraktive Strukturierung sowie das Ausfüllen und Überdecken der Primärstruktur mit einem fließfähigen Material.

— Das Verfahren wird ohne Röntgen-Tiefen-Lithographie durchgeführt; dadurch entfallen längere aufwendige Bestrahlungszeiten.

— Zum Herstellen der Primär-, Sekundär- oder Tertiärstruktur werden Werkstoffe ausgewählt, die für diese Verfahrensschritte optimal sind; Anforderungen, die an den Mikrostrukturkörper gestellt werden, bleiben hierbei unberücksichtigt.

— Für den Mikrostrukturkörper werden Werkstoffe ausgewählt, die die gestellten Anforderungen optimal erfüllen; Anforderungen, die während der Herstellung der Primär-, Sekundär- oder Tertiärstruktur gestellt werden, haben keinen Einfluß mehr.

— Die Mikrostrukturen können bereichsweise unterschiedliche Höhe haben.

— Neben den durch Röntgen-Tiefenlithographie erhältlichen Strukturformen werden weitere Formen zugänglich, die schnell und kostengünstig gefertigt werden können.

— Mikrostrukturen mit gegeneinander geneigten oder gekrümmten Wänden sind auf einfache Weise und mit wenig Aufwand herstellbar.

— Der beim Verfestigen des fließfähigen Materials gegebenenfalls auftretende Volumenschwund wird durch die Deckschicht auf der Primär- oder Sekundärstruktur ausgeglichen.

Das erfindungsgemäße Verfahren wird an Hand der Figuren weiter erläutert.

Fig. 1 zeigt drei Beispiele für die aus einem festen Körper hergestellte Primärstruktur jeweils in Schrägsicht. Die Mikrostruktur in Fig. 1a wird durch feinmechanische Präzisionsbearbeitung erhalten, die in Fig. 1b durch subtraktives Strukturieren und die in Fig. 1c durch additives Strukturieren. Fig. 2a, b, c zeigen im Querschnitt die mit einem fließfähigen Material (2) ausgefüllte und überdeckte Mikrostruktur (1), die anschließend in unterschiedlicher Weise weiterbearbeitet werden kann.

Einerseits kann die Deckschicht bis auf die Stirnseite der Primärstruktur abgetragen werden. Dabei entstehen die in den Fig. 3a, b, c gezeigten mit fließfähigem Material (2) ausgefüllten Primärstrukturen (1). Durch Überdecken mit einer leitfähigen Schicht entstehen die in Fig. 4a, b, c gezeigten Strukturen. In Fig. 4a ist eine relativ dicke Deckschicht (3) aus leitfähigem Kunststoff dargestellt, in Fig. 4b ein Schichtverbund, bestehend aus einer dünnen Metallschicht (4) unmittelbar auf der

Stirnseite der Primärstruktur und einer darüberliegenden relativ dicken Schicht (5) aus nicht leitfähigem Kunststoff, in Fig. 4c ist eine relativ dicke Metallschicht (6) dargestellt.

Nun wird die Primärstruktur von der Sekundärstruktur getrennt, bei den Strukturen nach Fig. 4a und Fig. 4c z. B. durch Abheben, bei der Struktur nach Fig. 4b z. B. durch Auflösen der Primärstruktur. Dadurch entstehen die bei den Fig. 7a, b, c dargestellten Strukturen, bestehend aus einer auf der Stirnseite der Primärstruktur liegenden leitfähigen Schicht (3), (4) oder (6) und dem strukturierten verfestigten fließfähigen Material (2), das die Hohlräume der Primärstruktur ausgefüllt hat. In Fig. 7b ist die dünne leitfähige Schicht (4) durch eine relativ dicke Schicht (5) verstärkt.

Falls sich die Primärstruktur von der Sekundärstruktur abheben läßt, kann die Primärstruktur wiederholt zur Herstellung der Sekundärstruktur verwendet werden.

Die Hohlräume (7) der Sekundärstrukturen nach den Fig. 7a, b, c werden z. B. durch Galvanoformung mit Metall (8) ausgefüllt und überdeckt; die Fig. 8a, b, c zeigen die Schichtenfolge.

Die Mikrostruktur aus Metall wird von der Sekundärstruktur getrennt; dabei entstehen die in den Fig. 9a, b, c gezeigten Mikrostrukturkörper aus Metall. Die in den Fig. 8a und 8c dargestellten Strukturen können durch Abheben getrennt werden. Bei der Struktur nach Fig. 8b werden die beiden Deckschichten (4) und (5) und das aus der Primärstruktur stammende verfestigte fließfähige Material (2) aufgelöst.

Die in den Fig. 9a, b, c dargestellten erfindungsgemäßen metallischen Mikrostrukturkörper werden der Verwendung zugeführt, oder sie dienen z. B. bei den Fig. 9a und 9c als Formeinsatz zum Abformen von komplexen Mikrostrukturkörpern.

Andererseits können die in den Fig. 2a, b, c dargestellten Strukturen voneinander getrennt werden, wobei die in den Fig. 5a, b, c dargestellten Strukturen aus verfestigtem fließfähigem Material (2) erhalten werden. Zum Trennen des in Fig. 2b dargestellten Verbundkörpers wird der die Primärstruktur bildende feste Körper (1) aufgelöst.

Die in den Fig. 5a, b, c dargestellten Mikrostrukturen aus Kunststoff oder Sinterwerkstoff, bzw. die in den Fig. 9a, 9b, 9c dargestellten Mikrostrukturen aus Metall oder Sinterwerkstoff haben einseitig offene Hohlräume (9) und sind die erfindungsgemäßen Mikrostrukturkörper.

Weiter kann die Deckschicht aus verfestigtem fließfähigem Material von den Mikrostrukturen nach den Fig. 5a, b, c mechanisch abgetragen werden. Dadurch entstehen die in den Fig. 6a, b, c gezeigten erfindungsgemäßen Mikrostrukturkörper, die in dem hier gezeigten Beispiel aus Kunststoff oder Sinterwerkstoff bestehen, mit durchgehenden Öffnungen (10).

Beispiel

Ein Mikrostrukturkörper aus Nickel mit einseitig offenen Hohlräumen wird z. B. folgendermaßen hergestellt.

Eine polierte Scheibe aus Silizium (2 mm dick, 100 mm Durchmesser) wird durch Sägen mittels eines 70 µm dicken Diamantsägeblattes strukturiert. Die Mikrostruktur besteht aus quadratischen Säulen (140 µm breit in jeder Richtung, 600 µm hoch). Anschließend wird die runde Scheibe mit einem gröberen Sägeblatt in

mehrere rechteckige Stücke zerteilt.

Die Siliziumscheibe mit der Primärstruktur wird gereinigt und auf einen Metallträger geklebt; dieser wird in das Werkzeug einer Reaktionsgießmaschine eingebaut. Die Primärstruktur wird unter Anlegen eines Unterdruckes vollständig mit Polymethylmethacrylat gefüllt und mit einer etwa 2 mm dicken Schicht überdeckt; der Kunststoff härtet innerhalb von wenigen Minuten aus.

Der Metallträger mit der aufgeklebten und gefüllten Primärstruktur wird aus der Gießmaschine entnommen. Die die Primärstruktur überdeckende Schicht wird durch Fräsen abgetragen, wobei die Stirnseite der Siliziumscheibe freigelegt wird.

Auf die Stirnseite der strukturierten Siliziumscheibe wird eine leitfähige Schicht aus Titan und Titanoxid aufgedampft und mit einem Kontaktdraht versehen. Auf die leitfähige Schicht wird eine Trägerplatte aus Polymethylmethacrylat aufgeklebt. Die Primärstruktur wird von der Sekundärstruktur durch Abheben getrennt.

In den Hohlräumen der Sekundärstruktur wird — ausgehend von der leitfähigen Schicht am Boden jedes Hohlraumes — Nickel galvanisch abgeschieden. Die mit Nickel gefüllten Hohlräume werden mit einer mehrere Millimeter dicken Nickelschicht als formstabiler Trägerschicht überdeckt. Die Sekundärstruktur wird von dem Mikrostrukturkörper aus Nickel durch Abheben getrennt. Mit dieser Sekundärstruktur werden weitere Mikrostrukturkörper aus Kunststoff hergestellt.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Herstellen von Mikrostrukturkörpern aus Kunststoff oder Sinterwerkstoff durch Abformen eines Formeinsatzes, gekennzeichnet durch

- Herstellen eines mikrostrukturierten Formeinsatzes (Primärstruktur) mit einseitig offenen Hohlräumen aus einem festen Körper durch feinmechanische Präzisionsbearbeitung, additive Strukturierung oder subtraktive Strukturierung,
- Ausfüllen und Überdecken der Primärstruktur mit einem fließfähigen Material,
- Verfestigen des fließfähigen Materials,
- Trennen des verfestigten fließfähigen Materials von dem mikrostrukturierten Formeinsatz, wobei der Mikrostrukturkörper aus Kunststoff oder Sinterwerkstoff erhalten wird, dessen Struktur zur Primärstruktur komplettär ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch

- Herstellen eines mikrostrukturierten Formeinsatzes (Primärstruktur) aus Metall, Keramik, Glas oder Stein — bevorzugt aus Silizium, Quarz, Galliumarsenid oder Germanium — als festem Körper durch feinmechanische Präzisionsbearbeitung, oder
- Herstellen eines mikrostrukturierten Formeinsatzes (Primärstruktur) durch additive Strukturierung, bevorzugt durch physikalisches oder chemisches Abscheiden aus der Dampfphase auf einem festen Körper, oder
- Herstellen eines mikrostrukturierten Formeinsatzes (Primärstruktur) aus einem einkristallinen Material — bevorzugt Silizium, Quarz oder Germanium — als festem Körper

durch subtraktive Strukturierung, bevorzugt durch anisotropes Ätzen oder Ionenätzen.

3. Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 2, gekennzeichnet durch

- Ausfüllen und Überdecken der Primärstruktur mit einem Reaktionsharz oder einem geschmolzenen Kunststoff als fließfähigem Material und
- Verfestigen des Reaktionsharzes durch Aushärten oder des geschmolzenen Kunststoffes durch Abkühlen.

4. Verfahren nach den Ansprüchen 1 und 2, gekennzeichnet durch

- Ausfüllen und Überdecken der Primärstruktur mit einem pulverförmigen Material — bevorzugt einem Metall-, Keramik- oder Glaspulver — oder einer Schlickermasse, die eines dieser Pulver enthält,
- Verfestigen des pulverförmigen Materials oder der Schlickermasse durch Trocknen, Sintern oder Brennen.

5. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 4, gekennzeichnet durch

- Trennen des verfestigten fließfähigen Materials von der Primärstruktur durch
- Abheben des verfestigten fließfähigen Materials von der Primärstruktur, oder durch
- selektives Auflösen der Primärstruktur.

6. Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 5, gekennzeichnet durch

- Abtragen der die Primärstruktur überdeckenden Schicht nach dem Trennen des verfestigten fließfähigen Materials von der Primärstruktur, wobei der Mikrostrukturkörper aus Kunststoff oder Sinterwerkstoff mit durchgehenden Öffnungen entsteht.

7. Verfahren zum Herstellen von Mikrostrukturkörpern aus Metall oder Sinterwerkstoff durch Abformen eines Formeinsatzes, gekennzeichnet durch

- Herstellen eines mikrostrukturierten Formeinsatzes (Primärstruktur) mit einseitig offenen Hohlräumen aus einem festen Körper durch feinmechanische Präzisionsbearbeitung, additive Strukturierung oder subtraktive Strukturierung,
- Ausfüllen und Überdecken der Primärstruktur mit einem fließfähigen elektrisch nicht leitfähigen Material,
- Verfestigen des fließfähigen Materials,
- Abtragen der die Primärstruktur überdeckenden Schicht bis zur Stirnseite der Primärstruktur,
- Auftragen einer Deckschicht aus leitfähigem Material, die mit der Stirnseite der Primärstruktur in Kontakt steht,
- Trennen des verfestigten fließfähigen Materials mit Deckschicht von der Primärstruktur, wobei eine Mikrostruktur (Sekundärstruktur) erhalten wird, die zur Primärstruktur komplettär ist,
- Ausfüllen und Überdecken der Sekundärstruktur mit einem galvanisch abgeschiedenen Metall,
- Trennen der mikrostrukturierten Schicht aus galvanisch abgeschiedenen Metall von der Sekundärstruktur, wobei der metallische Mikrostrukturkörper erhalten wird (Tertiärstruktur), dessen Struktur mit der Primärstruktur

übereinstimmt.

8. Verfahren nach Anspruch 7, gekennzeichnet durch

- Herstellen eines mikrostrukturierten Form-einsatzes (Primärstruktur) aus Metall — be- 5
vorzugt aus Messing, Aluminium oder Stahl —
als festem Körper durch feinmechanische Prä-
zisionsbearbeitung, oder
- Herstellen eines mikrostrukturierten Form-
einsatzes (Primärstruktur) aus einem einkri- 10
stallinen Material — bevorzugt Silizium,
Quarz, Galliumarsenid oder Germanium — als
festem Körper durch subtraktive Strukturie-
rung, bevorzugt durch anisotropes Ätzen oder
Ionenätzen, oder 15
- Herstellen eines mikrostrukturierten Form-
einsatzes (Primärstruktur) durch additive
Strukturierung, bevorzugt durch physikali-
sches oder chemisches Abscheiden aus der
Dampfphase auf einem festen Körper. 20

9. Verfahren nach den Ansprüchen 7 und 8, gekenn-
zeichnet durch

- Ausfüllen und Überdecken der Primär-
struktur mit einem Reaktionsharz oder einem
geschmolzenen Kunststoff als fließfähigem 25
Material und
- Verfestigen des Reaktionsharzes durch
Aushärten oder des geschmolzenen Kunststof-
fes durch Abkühlen.

10. Verfahren nach den Ansprüchen 7 und 8, ge- 30
kennzeichnet durch

- Ausfüllen und Überdecken der Primär-
struktur mit einem pulverförmigen Material —
bevorzugt einem Metall-, Keramik- oder Glas-
pulver — oder einer Schlickermasse, die eines 35
dieser Pulver enthält,
- Verfestigen des pulverförmigen Materials
oder der Schlickermasse durch Trocknen, Sin-
tern oder Brennen.

11. Verfahren nach den Ansprüchen 7 bis 10, ge- 40
kennzeichnet durch

- Trennen des verfestigten fließfähigen Mate-
rials von der Primärstruktur durch
- Abheben des verfestigten fließfähigen Mate-
rials von der Primärstruktur, oder durch 45
- selektives Auflösen der Primärstruktur.

12. Verfahren nach den Ansprüchen 7 bis 11, ge-
kennzeichnet durch

- Trennen der mikrostrukturierten Schicht
aus galvanisch abgeschiedenem Metall von der 50
Sekundärstruktur durch
- Abheben der strukturierten Metallschicht
von der Sekundärstruktur, oder
- selektives Auflösen der Deckschicht aus
leitfähigem Material und der Teile des verfe- 55
stigten fließfähigen Materials, das die Primär-
struktur ausgefüllt hat.

13. Mikrostrukturkörper aus Kunststoff oder Sinter-
werkstoff, hergestellt nach dem Verfahren nach
den Ansprüchen 1 bis 6. 60

14. Mikrostrukturkörper aus Metall oder Sinter-
werkstoff, hergestellt nach dem Verfahren nach
den Ansprüchen 7 bis 12.

- Leerseite -

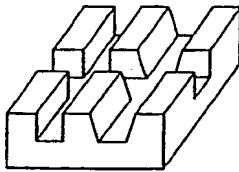


Fig. 1a

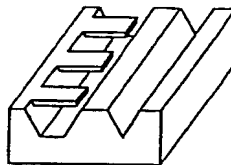


Fig. 1b

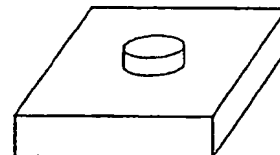


Fig. 1c

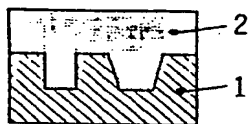


Fig. 2a

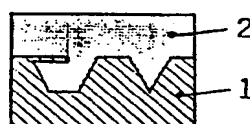


Fig. 2b

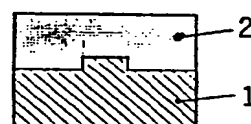


Fig. 2c



Fig. 3a



Fig. 3b



Fig. 3c



Fig. 4a

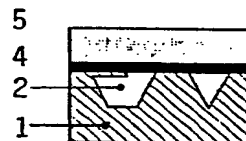


Fig. 4b



Fig. 4c



Fig. 5a



Fig. 5b

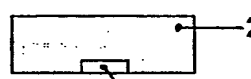


Fig. 5c



Fig. 6a

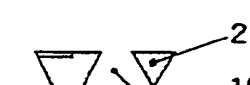


Fig. 6b



Fig. 6c

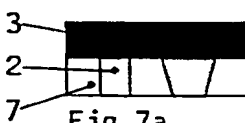


Fig. 7a

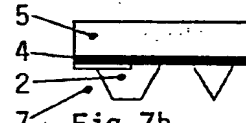


Fig. 7b

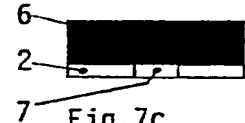


Fig. 7c

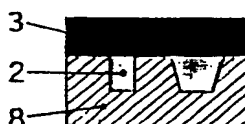


Fig. 8a

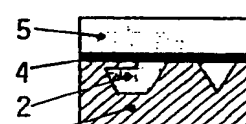


Fig. 8b



Fig. 8c



Fig. 9a



Fig. 9b



Fig. 9c